

Poluição do solo

Disposição de resíduos sólidos no solo

Agroindústria (dejetos animais)

Lodo de ETE

Postos de Combustível

Mineração de carvão

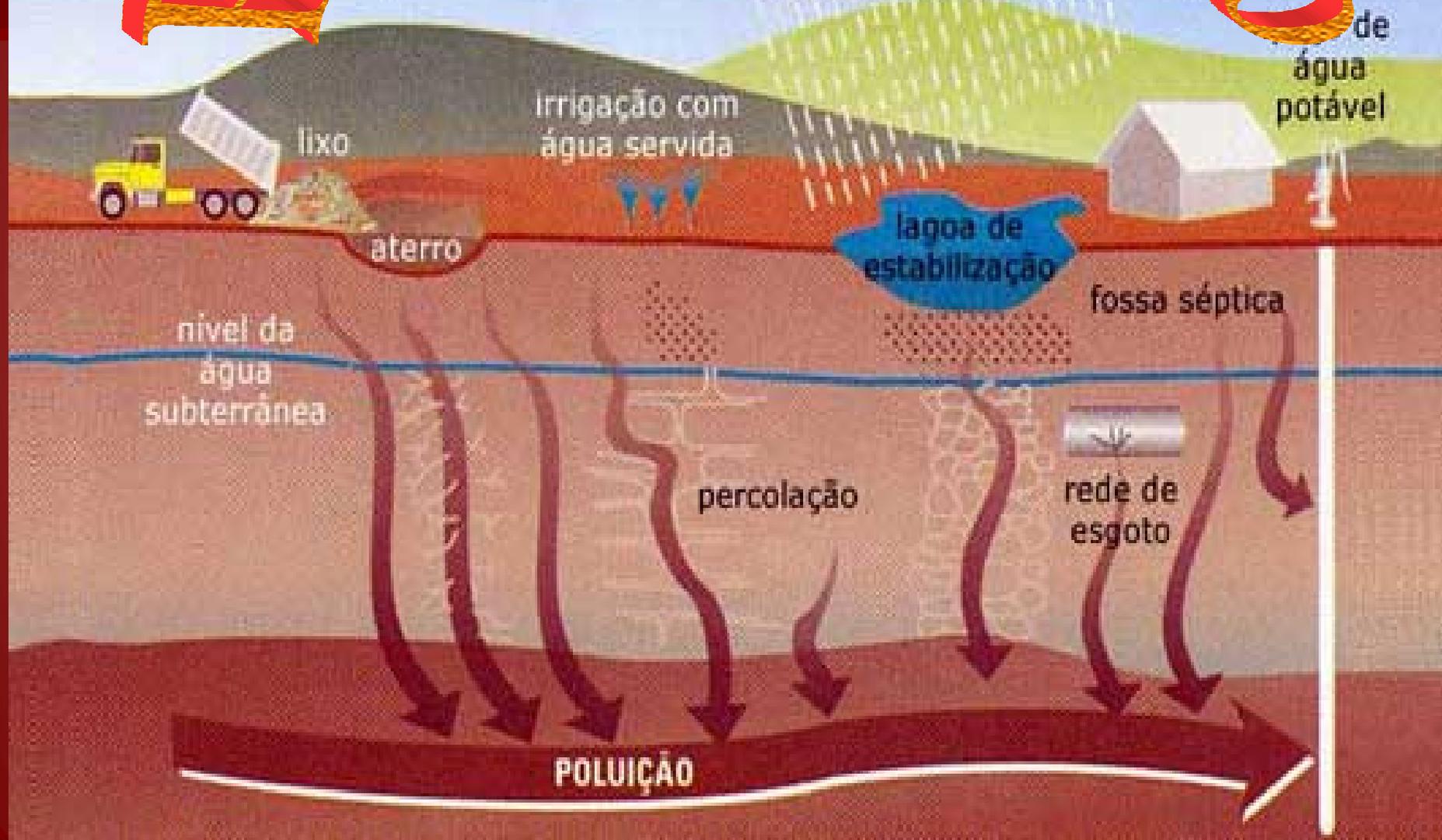
Atividades potencialmente poluidoras do solo



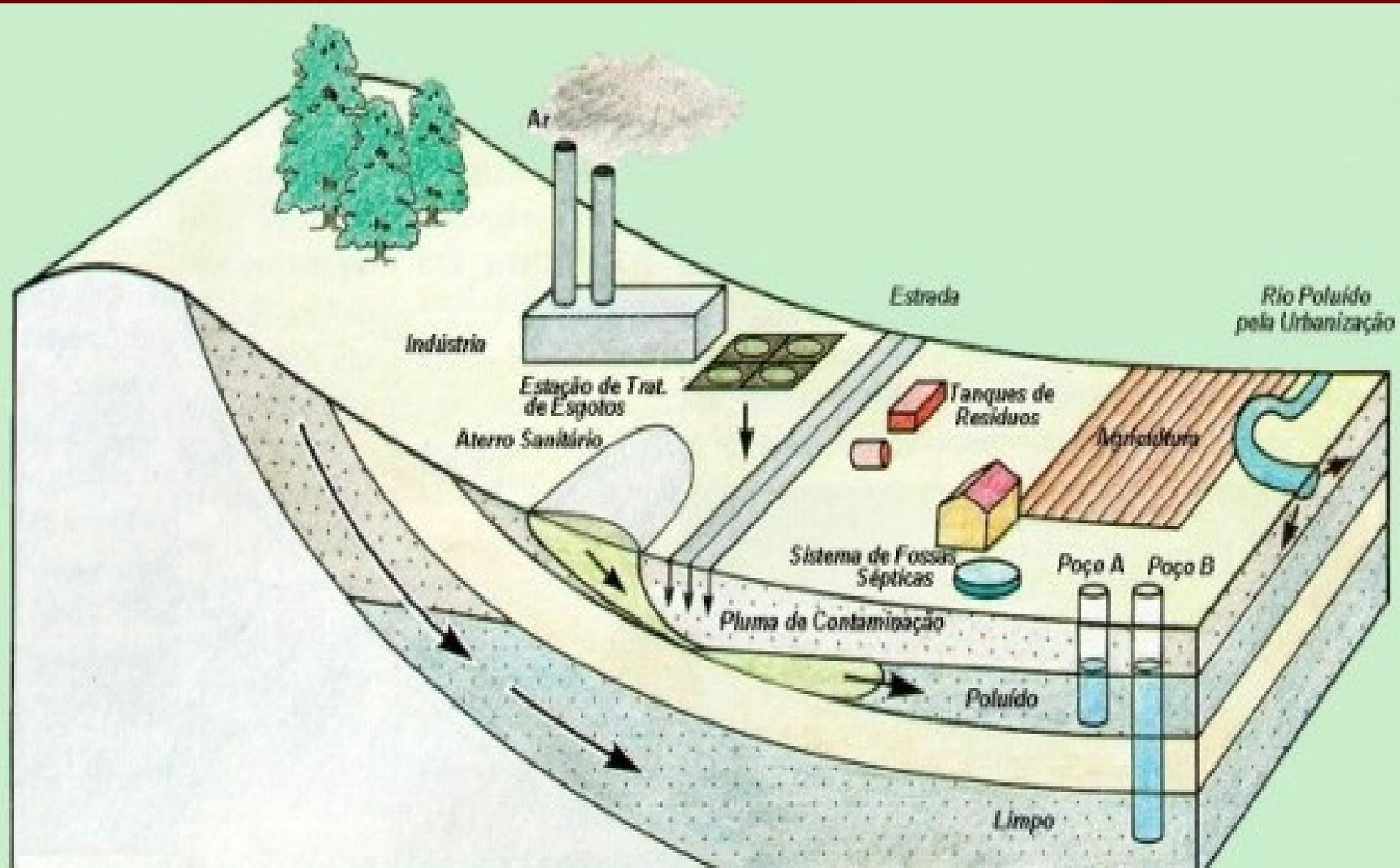
(Lei nº 997/76 aprovado pelo Decreto nº 8.468/76)

Artigo 4 - São consideradas fontes de poluição todas as obras, atividades, instalações, empreendimentos, processos, dispositivos, móveis ou imóveis, ou meios de transportes que, direta ou indiretamente, causem ou possam causar poluição ao meio ambiente.

POLUIÇÃO DO SOLO



Atividades potencialmente poluidoras



(Fonte da Figura: UNESCO, 1992, Ground Water. Environment and Development - Briefs. No. 2. - traduzida e adaptada pelo DRM/RJ)

Poluição do solo

Ednilson Viana

Poluição do solo



Ednilson Viana

Poluição do solo



Ednilson Viana

Poluição do solo



Poluição do solo



Polluição do solo



Poluição do solo



Poluição do solo



Poluição do solo



Poluição do solo

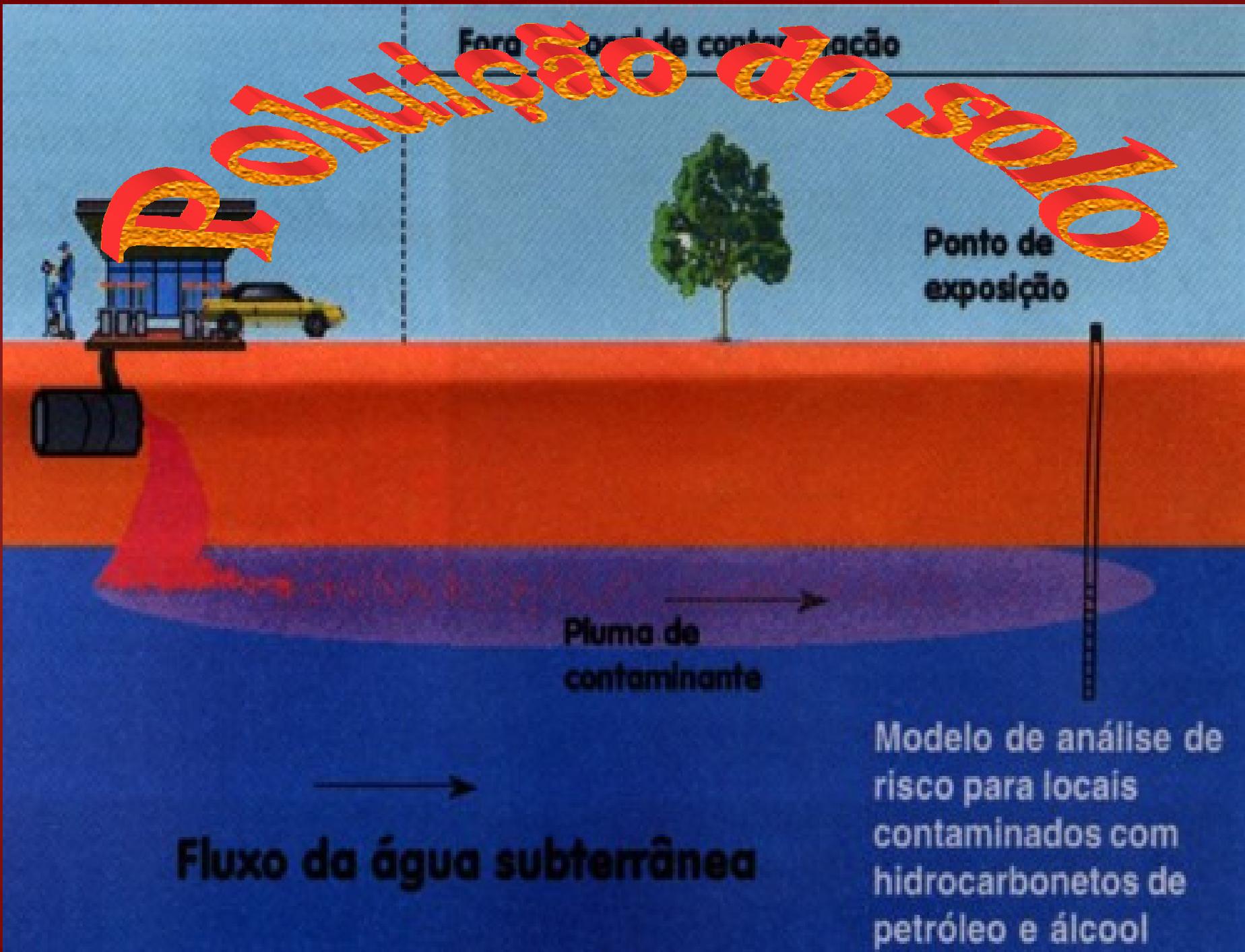
Fora do local de contaminação

Ponto de
exposição

Pluma de
contaminante

Fluxo da água subterrânea

Modelo de análise de
risco para locais
contaminados com
hidrocarbonetos de
petróleo e álcool



Polluição do solo

Condomínio residencial Barão de Mauá

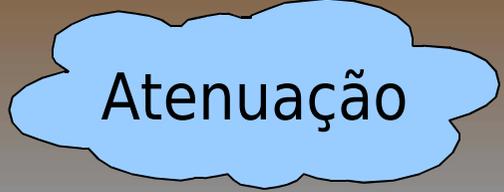
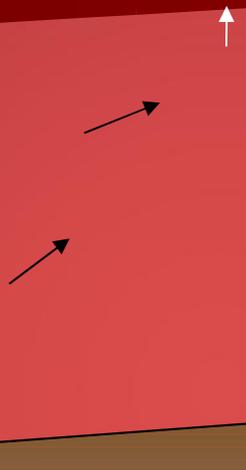
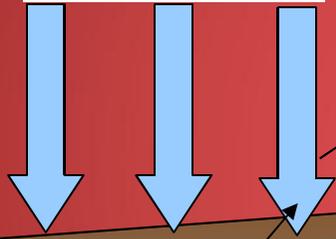


- **compostos orgânicos e compostos inorgânicos**
- **benzeno, clorobenzeno, trimetilbenzeno e decano**

Poluição do solo



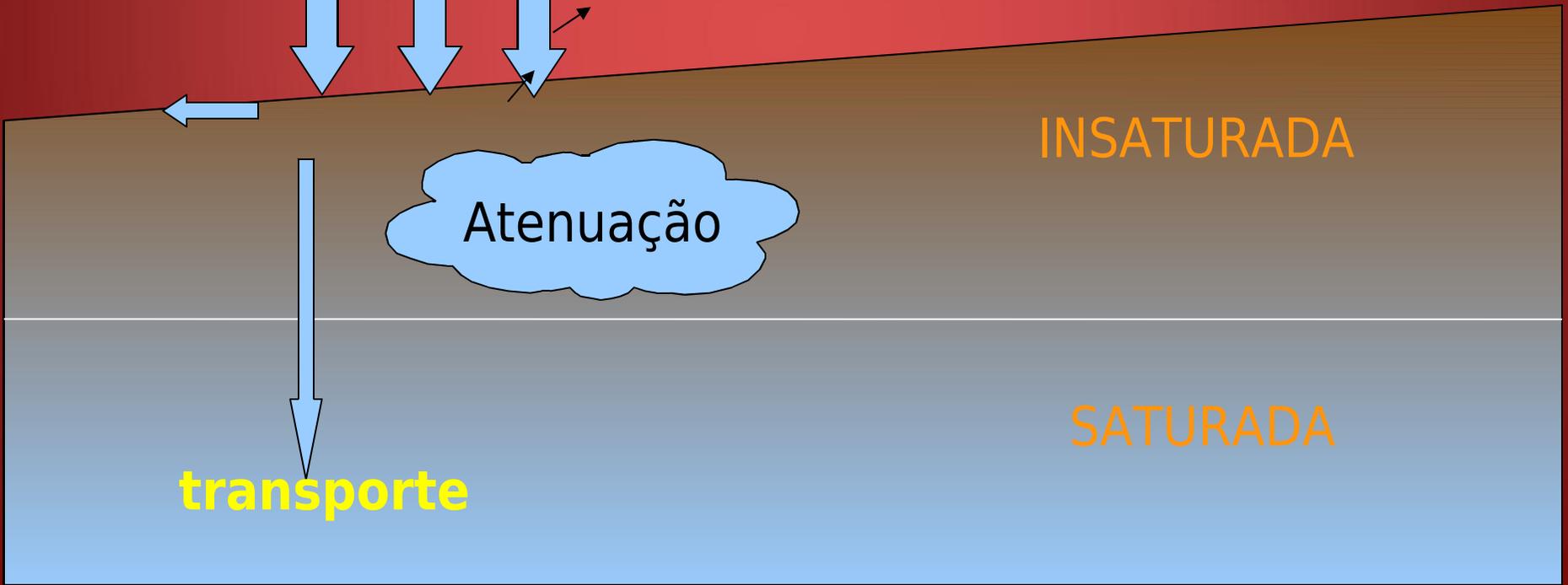
Poluente



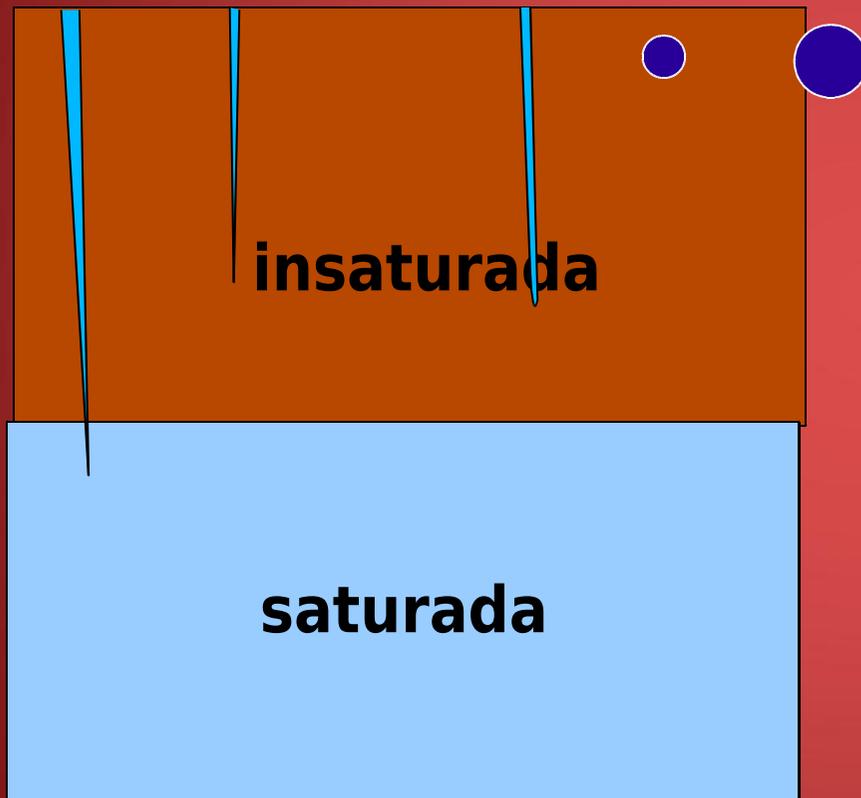
transporte

INSATURADA

SATURADA

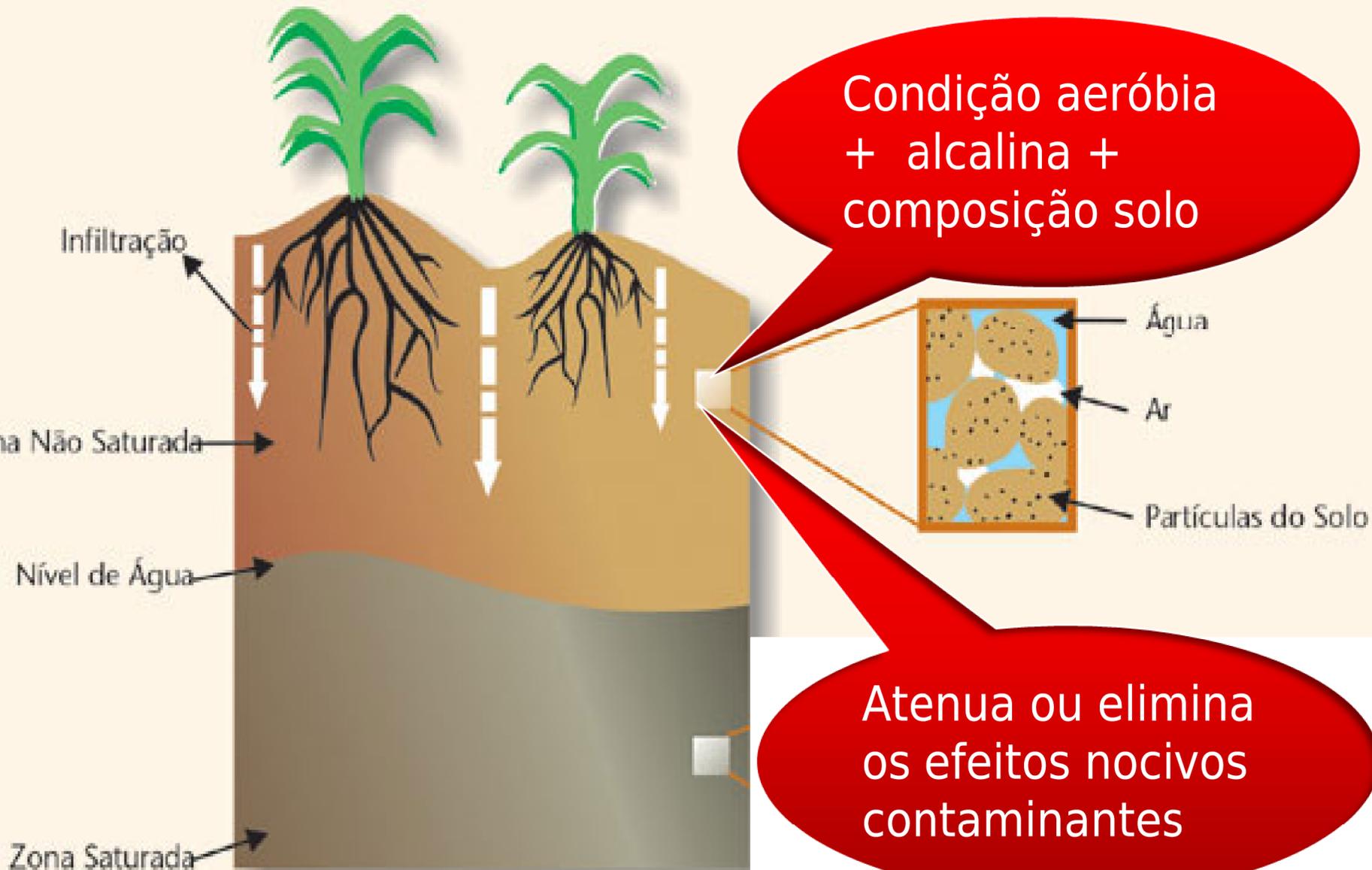


Horizontes

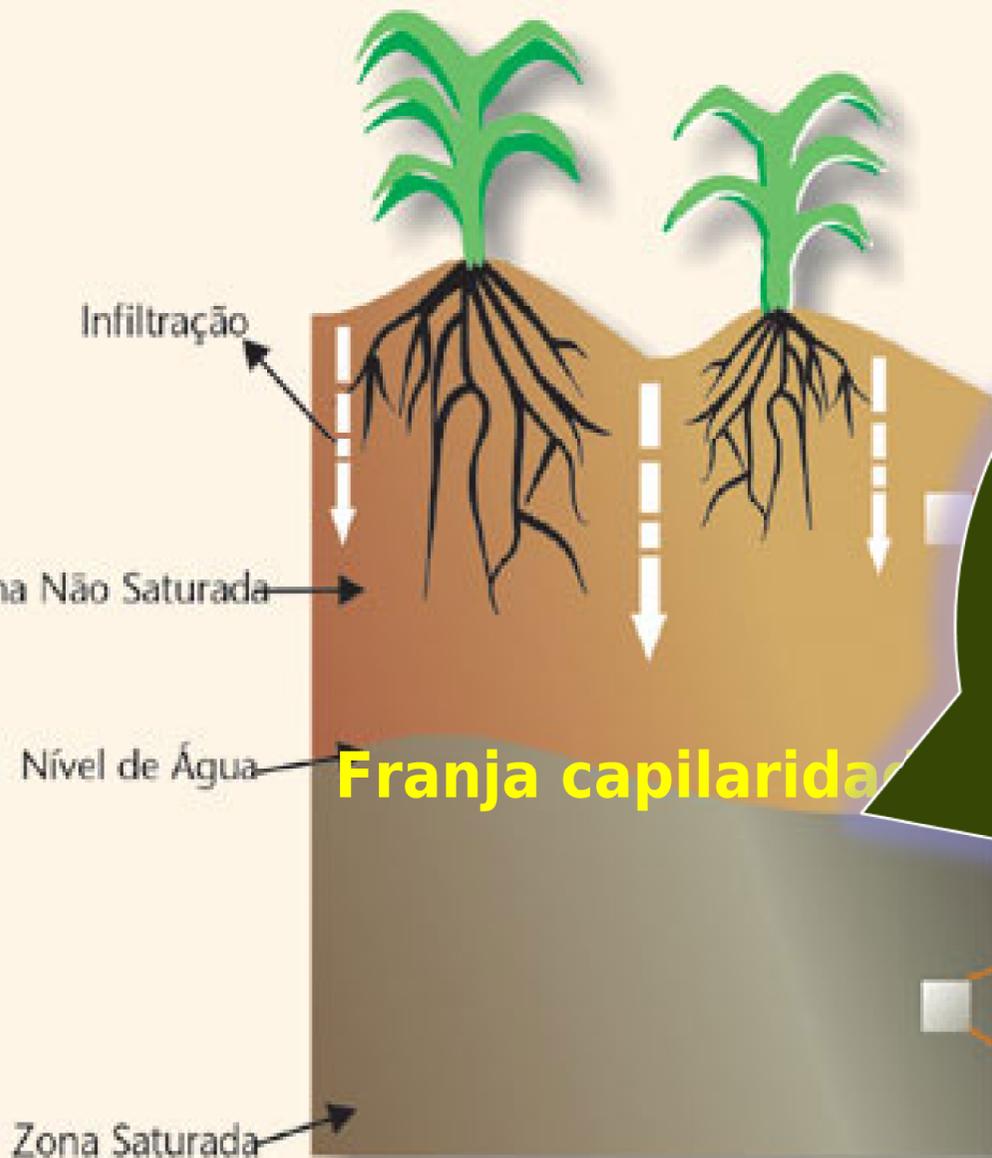


fraturas,
interstícios e
canais de
dissolução -
maior
vulnerabilidade a
contaminação

Solo atua como um filtro - zona insaturada

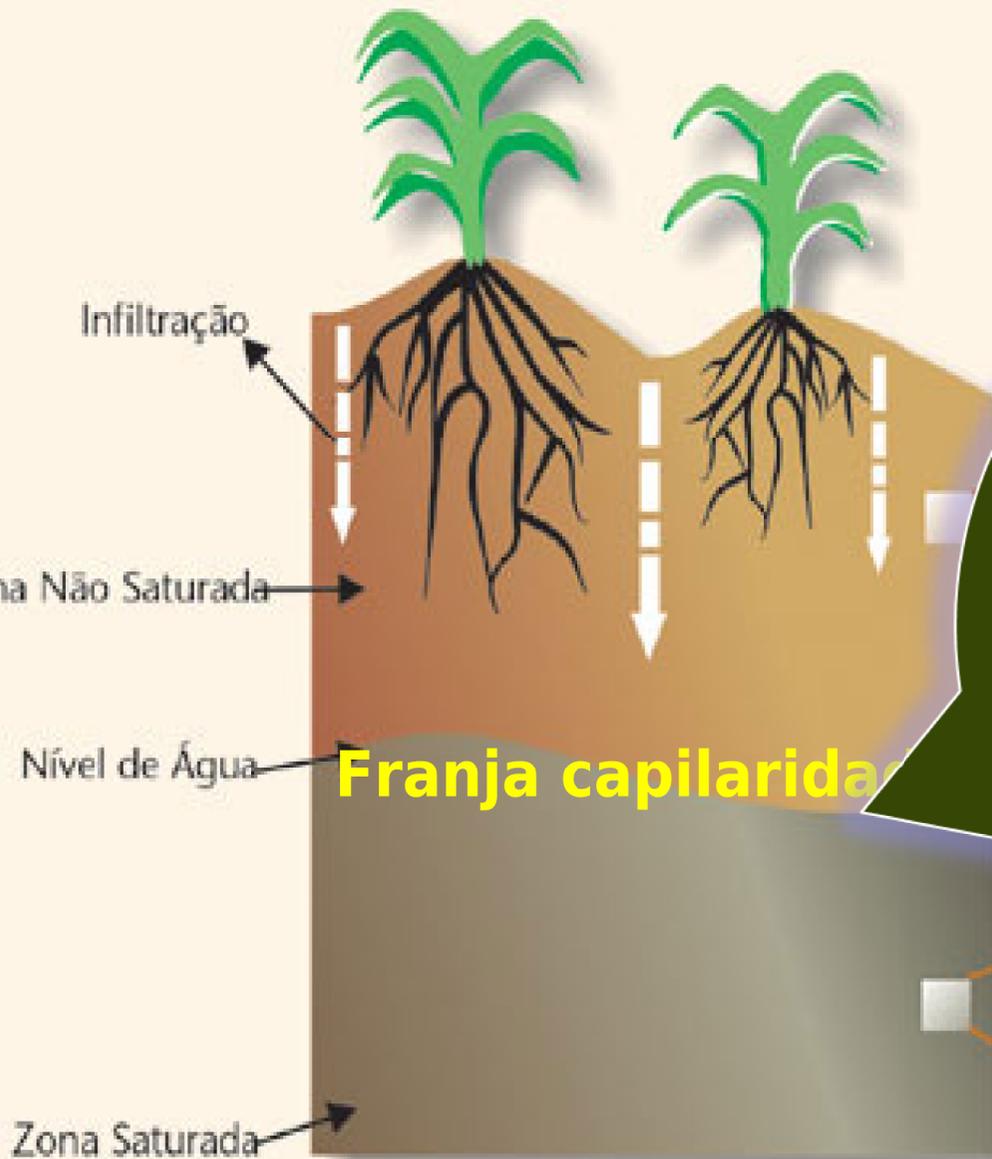


FRANJA DE CAPILARIDADE



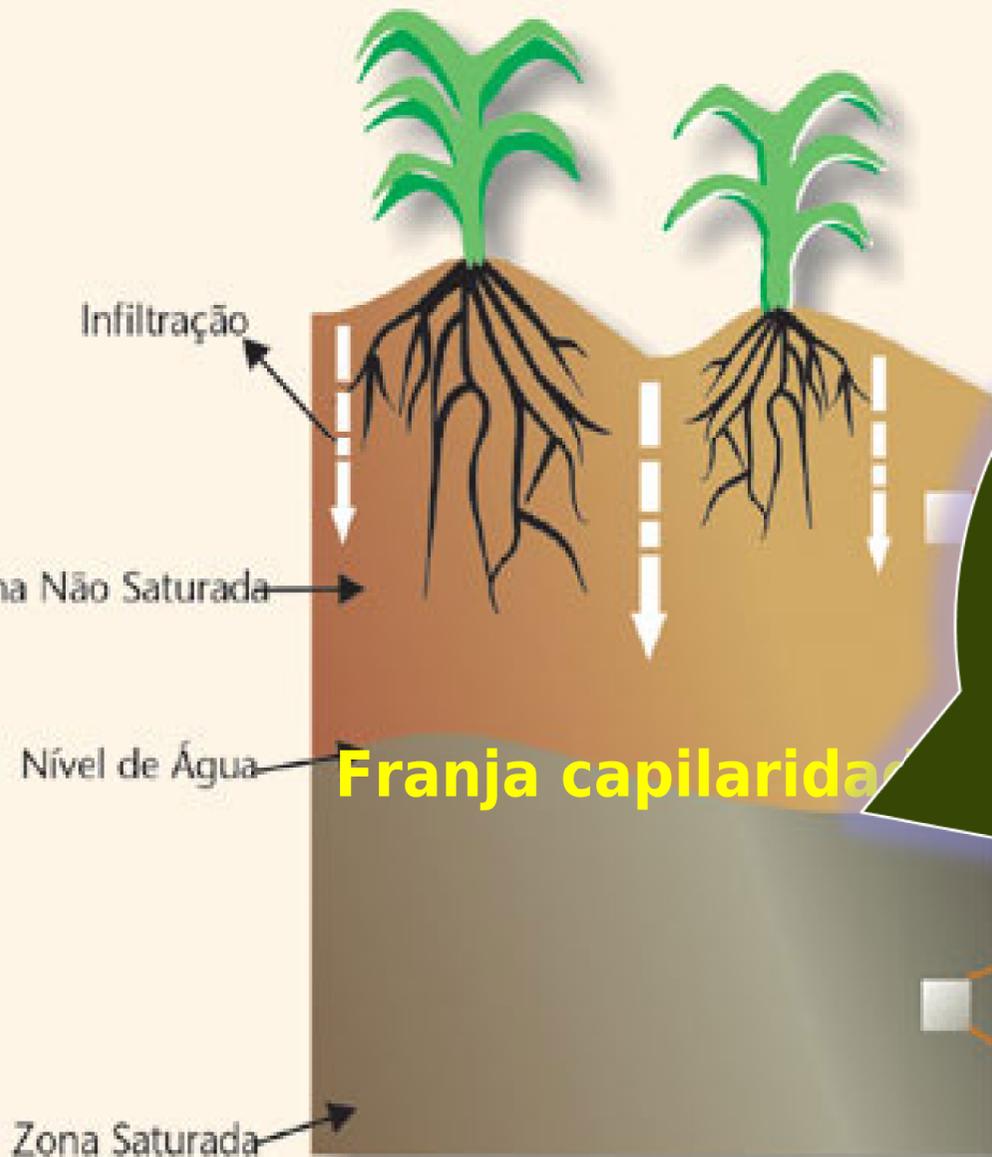
Formada em função da atração molecular entre a fase líquida e sólida e tensão superficial entre fase ar-água

FRANJA DE CAPILARIDADE



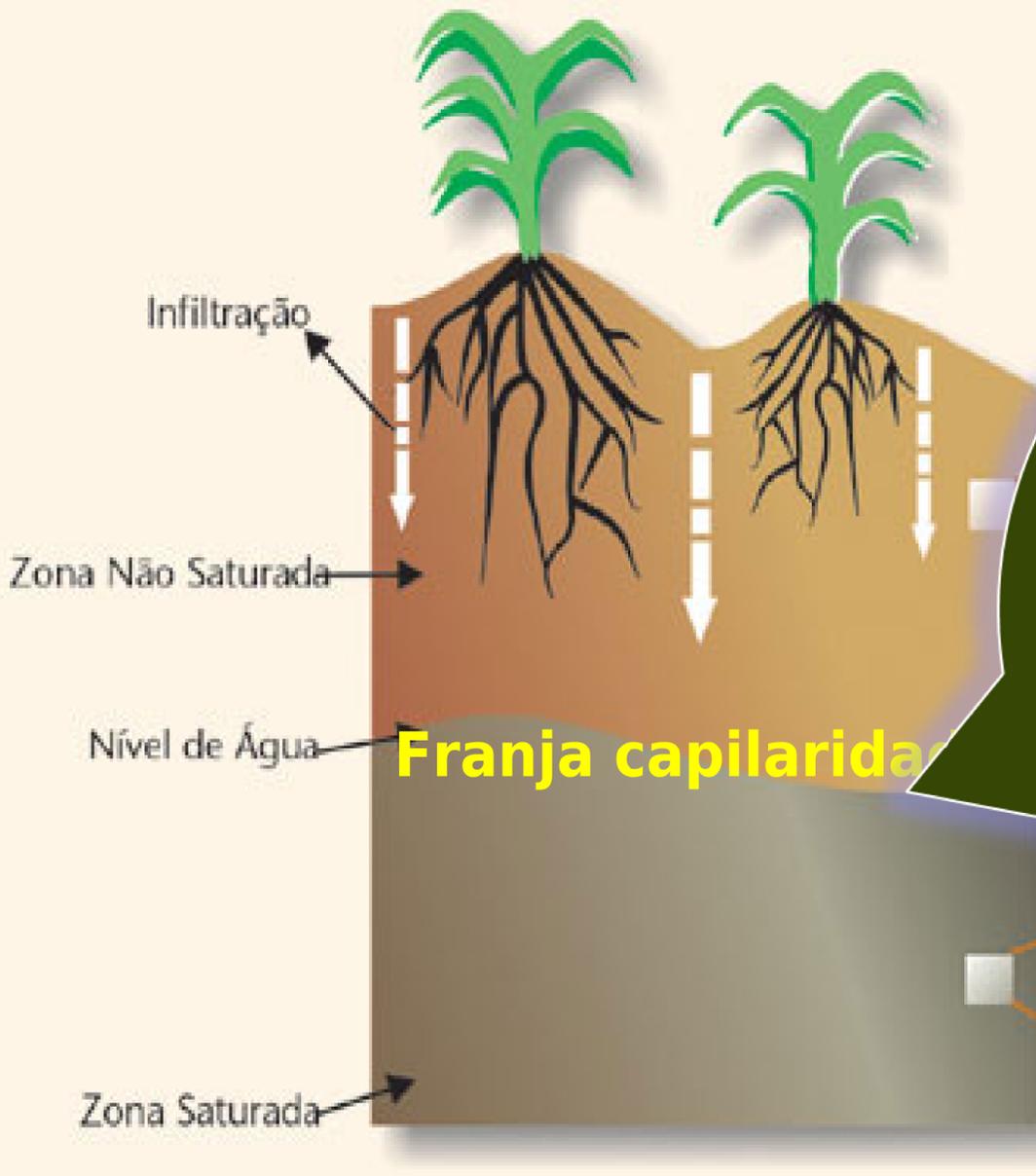
A água sobe por poros de diâmetro muito pequenos (franja capilar) opondo-se a força de gravidade

FRANJA DE CAPILARIDADE



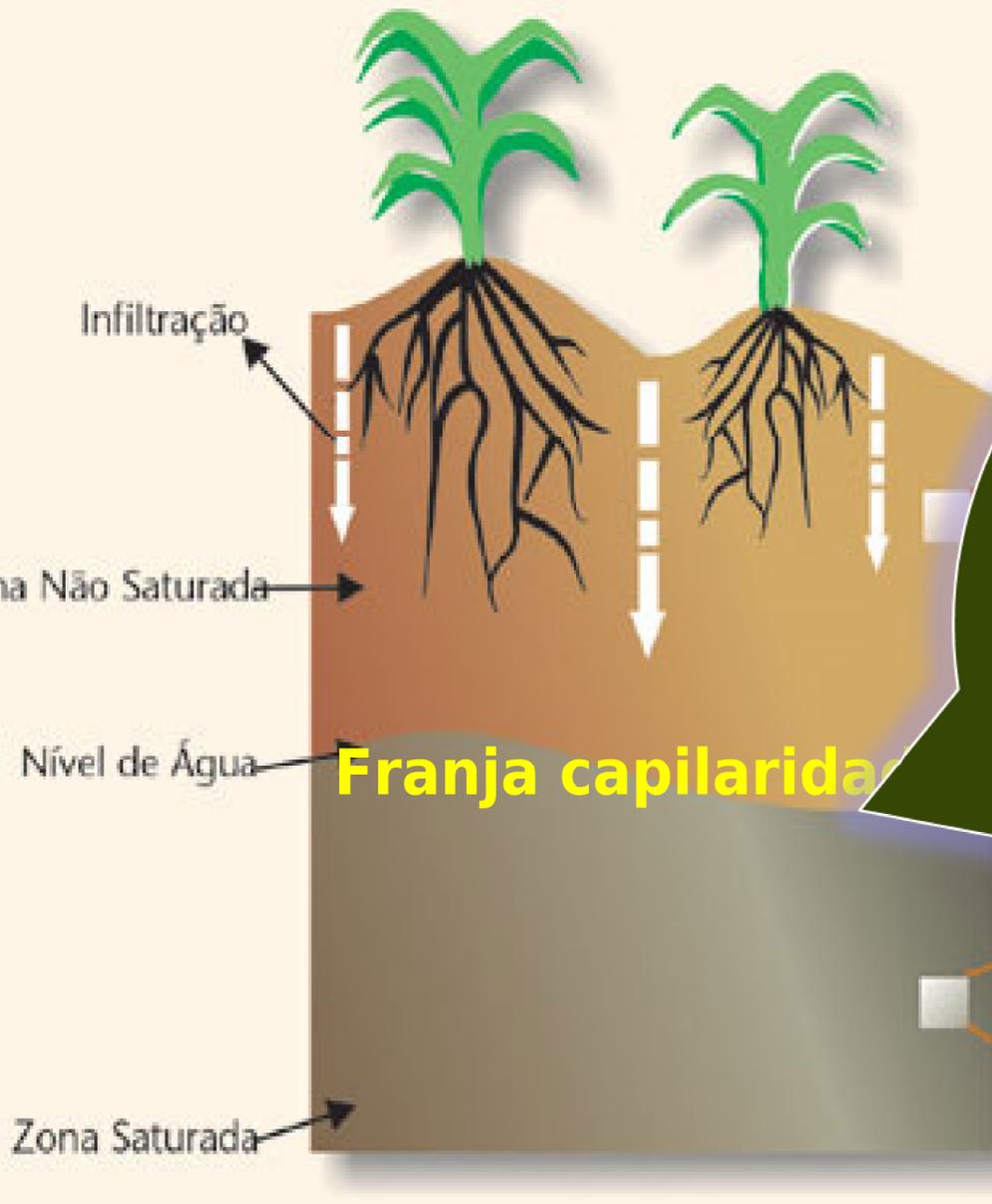
Isto quer dizer que a espessura da franja de capilaridade é definida pela elevação capilar que é FUNÇÃO????

FRANJA DE CAPILARIDADE



da TEXTURA E
GRANULOMETRIA
DO TERRENO

FRANJA DE CAPILARIDADE



O que isto significa na atenuação de poluentes no solo????

FRANJA DE CAPILARIDADE



AERÓBIO E
ALCALINO

Franja capilaridade

índice de vazio benéfico para **eliminar** bactérias, vírus, hidrocarbonetos e orgânicos

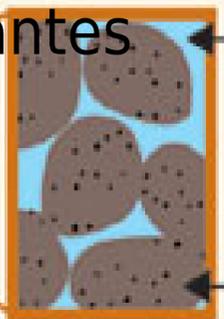
Zona Saturada

Processos
interceptação,
adsorção e
biodegradação de
contaminantes
continuam aqui

Nível de Água

Zona Saturada

Segue fluxo lençol
(fase dissolvida) -
locais mais
distantes



Água Subterrânea

Partículas do Solo

ATENUAÇÃO DE POLUENTES NO SOLO

Composição do solo

```
graph LR; A[Composição do solo] --- B[Atenuação física]; A --- C[Atenuação química];
```

Atenuação física

Atenuação química

ATENUAÇÃO DE POLUENTES NO SOLO

Atenuação física - exercício grupo próximo slide

Mecanismos de Atenuação física e transporte no solo

Composição solo

- Textura
- Estrutura
- Densidade
- Porosidade
- Permeabilidade
- Fluxo de água
- Ar
- Calor

Filtração e Lixiviação



Mecanismos de Atenuação química e transporte no solo

Composição solo

- pH
- Teor de nutrientes
- Capacidade de troca iônica (potássio, cálcio, magnésio e sódio)
- Condutividade elétrica
- Matéria orgânica

**ADSORÇÃO -
PRECIPITAÇÃO -
NEUTRALIZAÇÃO**

Manejo do solo



Fatores que intervêm no transporte de substâncias em solos

Características do contaminante

(solubilidade, densidade, concentração, pH, D.B.O., D.Q.O, etc.)

Características do solo pelo qual ele percola

(granulometria, mineralogia da fração argila, permeabilidade, matéria orgânica, etc.)

Características do ambiente

(tempo de exposição do solo ao contaminante, presença de microorganismos, condições hidrogeológicas, condições aeróbicas/anaeróbicas e temperatura).

Transporte/mobilidade e atenuação poluentes

A **TEMPERATURA** pode alterar:

- **permeabilidade do solo**
(muda a viscosidade do fluido)
- **velocidade de reações químicas**
- **solubilidade do contaminante**

Como isto pode ser importante na remediação do solo????

Atenuação e capacidade de autodepuração

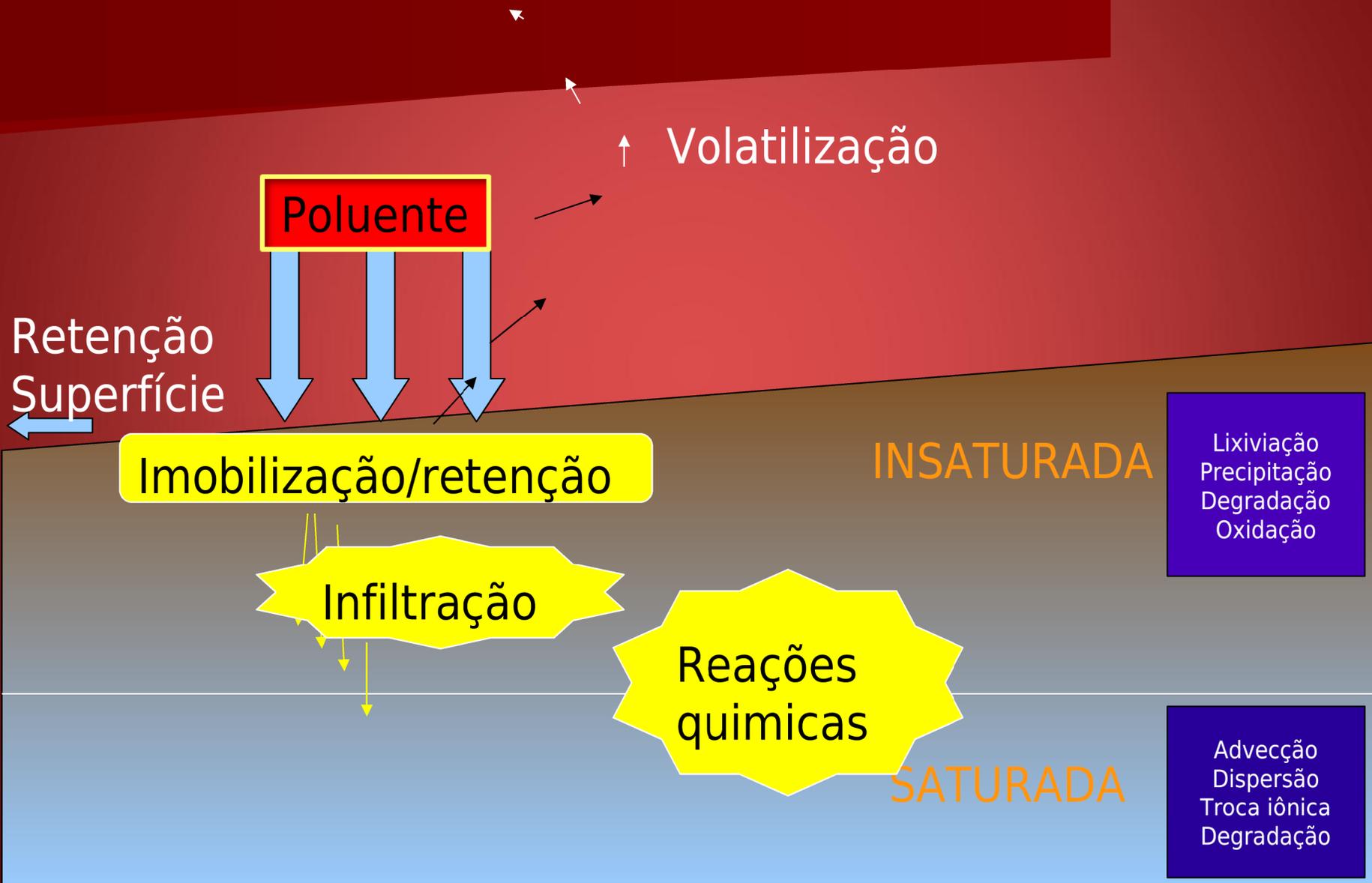
Adsorção

Precipitação

Outros

tempo de
residência do
percolado

Interações solo-poluentes



Contaminante atinge a **superfície** do solo

Contaminante

Retenção

Adsorção

física

química

Não-Adsorptiva

precipitação

sequestro

Infiltração

transporte

difusão

dispersão

Reações químicas

Solubilização/
precipitação

Oxidação/
Redução

Troca iônica

Retenção – (adsorção)

Adsorção – É o mecanismo pelo qual as moléculas de poluentes são retidas na superfície dos grãos do solo.

Há dois tipos de mecanismos de adsorção: Adsorção física
Adsorção química

Retenção – (adsorção física)

Adsorção física - as moléculas de poluentes ficam **retidas na superfície dos grãos do solo por forças de Van der Waals**, que duram um longo período (até semanas).

Estas são **forças fracas** e não envolvem por isto a quebra de ligações com os componentes ali presentes.

Retenção – (adsorção física)

Forças de Van der Waals: São **forças de atração ou repulsão** entre moléculas (ou entre grupos dentro da mesma entidade molecular) diferentes daquelas que são devidas à formação de ligação ou a interação eletrostática de íons ou grupos iônicos uns com os outros

Aumento de temperatura diminui a quantidade de material retido por Adsorção física

Retenção – (adsorção química)

Adsorção química - Os poluentes se ligam neles mesmos e então na superfície do grão de solo como resultado da formação de uma **ligação química forte** (normalmente colvalente).

Retenção – (adsorção química)

Ligação covalente: A ligação covalente é um tipo de ligação química entre átomos, caracterizada pelo compartilhamento de um ou mais pares de elétrons entre estes, causando uma atração mútua entre eles, que mantêm a molécula resultante unida.

Aumento de temperatura aumenta a quantidade de material retido por adsorção química

Retenção – (adsorção)

Exemplos de adsorventes no solo: argilas, ferro, hidróxido de alumínio, substâncias húmicas, componentes orgânicos etc

Muitos minerais como micas e feldspatos são bons adsorventes de moléculas de poluentes

Fatores que afetam a adsorção no solo

A intensidade da adsorção depende de vários fatores, não somente da composição do solo mas também das propriedades físicas e químicas dos poluentes

Fatores que afetam a adsorção no solo

- Composição mineralógica do solo
- Textura do solo
- Conteúdo e distribuição de substâncias mineralógicas no solo
- Propriedades físico-químicas do solo
- CTC dos componentes orgânicos e minerais do solo
- O tipo de poluente, a sua natureza e constituição química
- Condições climáticas e práticas agrícolas (condições externas)

Fatores que afetam a adsorção no solo

(Composição mineralógica do solo)

- ***argilo minerais são importantes adsorventes seguido de silicatos e Componentes orgânicos***
- A intensidade de adsorbância depende fundamentalmente do conteúdo de argila no solo, bem como de outros silicatos na composição mineral
- A capacidade de troca de cátions das argilas pode ser aumentada com o aumento da presença de matéria mineral como hidróxidos de alumínio e Ferro
- Terce & Calvet (1977) chegaram a conclusão de que 2 hidróxidos aumenta a capacidade adsortiva de um tipo específico de argila (montmorillonite)

Fatores que afetam a adsorção no solo

(Textura)

- Quanto menor o tamanho do grão, maior a sua superfície de contato - alta energia superficial e portanto maior capacidade de adsorção
- Kennedy & Brown (1965) - conteúdo de cálcio e sódio adsorvido em sedimento de areia representava 90% do tamanho do grão (0,12-0,2 mm), enquanto que para uma fração mais grosseira (0,2-0,5), foi 10% menor

Fatores que afetam a adsorção no solo (Substâncias húmicas)

- A presença de substâncias húmicas contendo os grupos funcionais Carboxil e hidroxil fenólico – aumenta a CTC do solo

Fatores que afetam a adsorção no solo (propriedades físico químicas dos solo)

- Na presença de argilas as moléculas de água são adsorvidas em sua superfície e formam cavidades de hidratação.
- Estas cavidades provém sítios para moléculas de poluentes. A água adsorvida geralmente possui alta taxa de dissociação, o que pode aumentar a CTC do solo

Fatores que afetam a adsorção no solo (características do poluente)

- A **natureza e composição** dos poluentes exercem influência
-
- não somente sobre o processo de **solubilização e difusão**
- mas também sobre a **adsorção** nos grãos do solo

Fatores que afetam a adsorção no solo (características do poluente)

As reações de **hidrólise e troca iônica** são sensíveis ao pH do Ambiente criado pelo contaminante.

Um exemplo é a **adsorção de organofosforados** (pesticida) na superfície de argilas, que são estáveis em pH ácido/neutro mas instável em pH alcalino (hidrólise) (**ésteres na composição**)

Retenção não adsortiva (precipitação)

- Ocorre através da passagem da forma dissolvida do poluente para a forma insolúvel. Estas reações de precipitação são controladas pelo equilíbrio ácido-base e condições redox do meio
- As reações de precipitação são reversíveis com a mudança das condições do meio como por exemplo o pH.

Precipitação



Os íons de duas ou mais consideradas eletrólitos fortes reagem entre si um composto insolúvel ou bem pouco solúvel em água, que precipita

Exemplo:



Neutralização



Reação de neutralização pelos carbonatos (maior 100mg por hectare – custo elevado) – CaO_3

Aumento do pH e remoção de metais na forma de hidróxidos, formando precipitados, reações estas que dependem do pH, temperatura etc

O ferro predomina sob a forma iônica Fe^{+3} e Fe^{+2}

Neutralização



O férrico Fe^{+3} pode ser facilmente removido devido a sua baixa solubilidade como hidróxido em pH 3,0.

O íon ferroso (Fe^{+2}) também pode ser removido como hidróxido a pH 7,0, mas com precipitação lenta

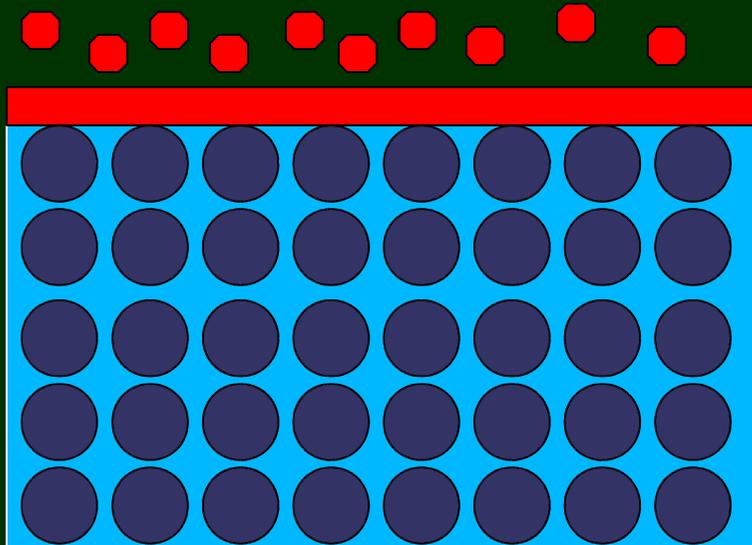


Retenção não adsortiva (filtração)

- É o empilhamento de partículas sólidas e moléculas grandes dissolvidas no espaço dos poros do solo – um dos principais mecanismos de retenção de poluentes
- Este tipo de retenção ocorre de acordo com 3 mecanismos: membrana superficial; filtro; sequestro físico-químico

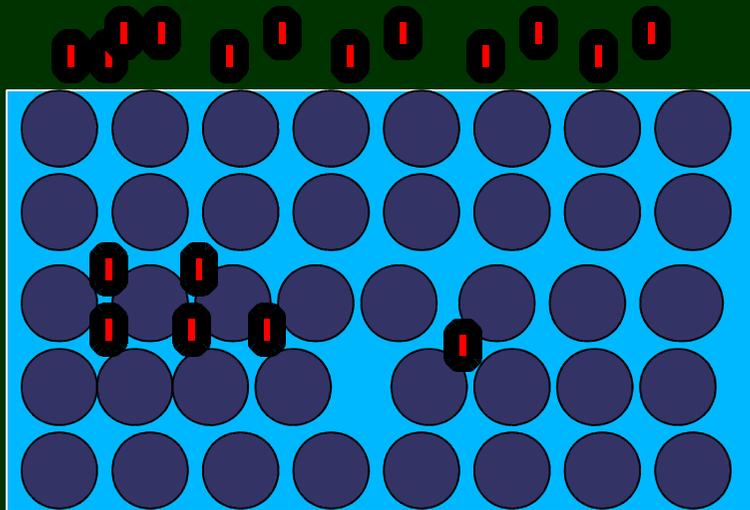
Retenção não adsortiva (membrana)

a) membrana: Ocorre quando as partículas de poluentes são maiores que os poros do solo. Formam uma camada (membrana) na superfície onde o tamanho dos poros são muito pequenos



Retenção não adsortiva (retenção)

b) retenção: Ocorre quando as partículas de poluentes são do mesmo tamanho dos poros do solo. Elas caminham poro abaixo até encontrar poros de tamanhos menores



Retenção não adsortiva (filtração – físico-químico)

- Partículas de poluentes são **menores** que o tamanho dos poros do solo.
- Este tipo de retenção **limita o fluxo dos poros** pela **obstrução** destes através de **reações físico-químicas**, formando **novos produtos** com **tamanho molecular maior** que o dos poros.
- Um **exemplo é a floculação** de partículas coloidais resultantes da precipitação do óxido de Ferro e manganês

INFILTRAÇÃO (Zona Insaturada)

Movimento do líquido através das camadas do solo **por meio dos vazios** entre os grãos e pela **ação da gravidade**

Do que depende a mobilidade dos contaminantes por infiltração então?????

INFILTRAÇÃO (Zona Insaturada)

Por isso a mobilidade dos contaminantes dependem:

- Forma
- tamanho das partículas
- grau de compactação

O que mais é alterado através destes elementos??????????

INFILTRAÇÃO (Zona Insaturada)

• **PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO INFLUEM NA INFILTRAÇÃO**

- porosidade
- permeabilidade
- ar
- calor
- estrutura
- textura

Lixiviação

Extração ou solubilização de constituintes químicos de uma rocha, mineral, solo, depósito etc pela ação de um líquido percolante

Movimentação dos contaminantes ao longo do perfil do solo por meio da água

Lixiviação



TIPOS DE REAÇÕES

- Solvatação de íons pela água



-Ataque ácido



-Ataque alcalino



Lixiviação



Zinco



LIXIVIAÇÃO (Zona Insaturada)

A movimentação dos poluentes através do solo, em direção ao lençol freático

INFLUENCIADA POR FATORES

- **características físico-químicas dos poluentes**
(mais solúvel ou menos solúvel p.ex)
- **propriedades físico-químicas do solo**
- **práticas de manejo do solo**

DISPERSÃO - (ZONA SATURADA)

Transporte **causado pelo movimento das moléculas** que se agitam aleatoriamente.

É o espalhamento do contaminante na direção do fluxo da solução

Ligado a **variação da dimensão dos poros, tortuosidade, reentrância e interligações entre os canais**

DIFUSÃO

Transporte ocasionado por um gradiente de concentração molecular ou viscosidade ou densidade. Este processo ocorre em líquidos e gases.

O contaminante dissolvido na água do solo pode difundir através do gradiente de concentração dos fluidos.

Gases contidos na porção de ar do solo são resultantes de componentes voláteis dos poluentes (gasolina), migrados por difusão pelo sistema de poros do solo

DEGRADAÇÃO

Transformação dos contaminantes em um ou mais produtos através de reações de quebra ou formação de novas ligações químicas, formando compostos mais simples como água, CO₂ e NH₃

Pode ser:

- **Fotodegradação (luz)**
- **Degradação química (hidrólise e reações de oxirredução)**
- **Degradação microbiológica (microrganismos)**

DEGRADAÇÃO (MICROBIOLÓGICA/METABOLIZAÇÃO)

**Principais microrganismos no solo: TRANSFORMA MOLÉCULAS
ORGÂNICAS EM OUTRAS MENORES + CO₂ E ÁGUA**

- Fungos
- Bactérias
- Actinomicetos (pouco exigentes e junto com as bactérias são os principais responsáveis pela biodegradação **de hidrocarbonetos no solo**)

DEGRADAÇÃO (MICROBIOLÓGICA)

- **Aeróbia** (presença de O₂)

Principalmente na zona insaturada (maior presença de O₂)

- **Anaeróbia** (ausência O₂)

Principalmente na zona insaturada (pouco O₂)

IMOBILIZAÇÃO

Capacidade das partículas minerais e-ou orgânicas do solo de reterem um determinado composto ou molécula orgânica (adsorção ou precipitação)

ADVECÇÃO - (ZONA SATURADA)

É o movimento de soluto conjuntamente ao movimento do fluxo da água subterrânea

densidade do contaminante

PRECIPITAÇÃO/DISSOLUÇÃO

Desprendimento de substâncias inicialmente em solução

Ocorre quando a concentração destas substâncias excede o seu grau de solubilidade (precipita)

Dissolução é processo inverso de precipitação

Reversível

Fortemente afetado pela temperatura e pH

OXIDAÇÃO/REDUÇÃO

Mudança da valência dos elementos envolvidos através da perda (oxi) ou ganho de elétrons (redu)

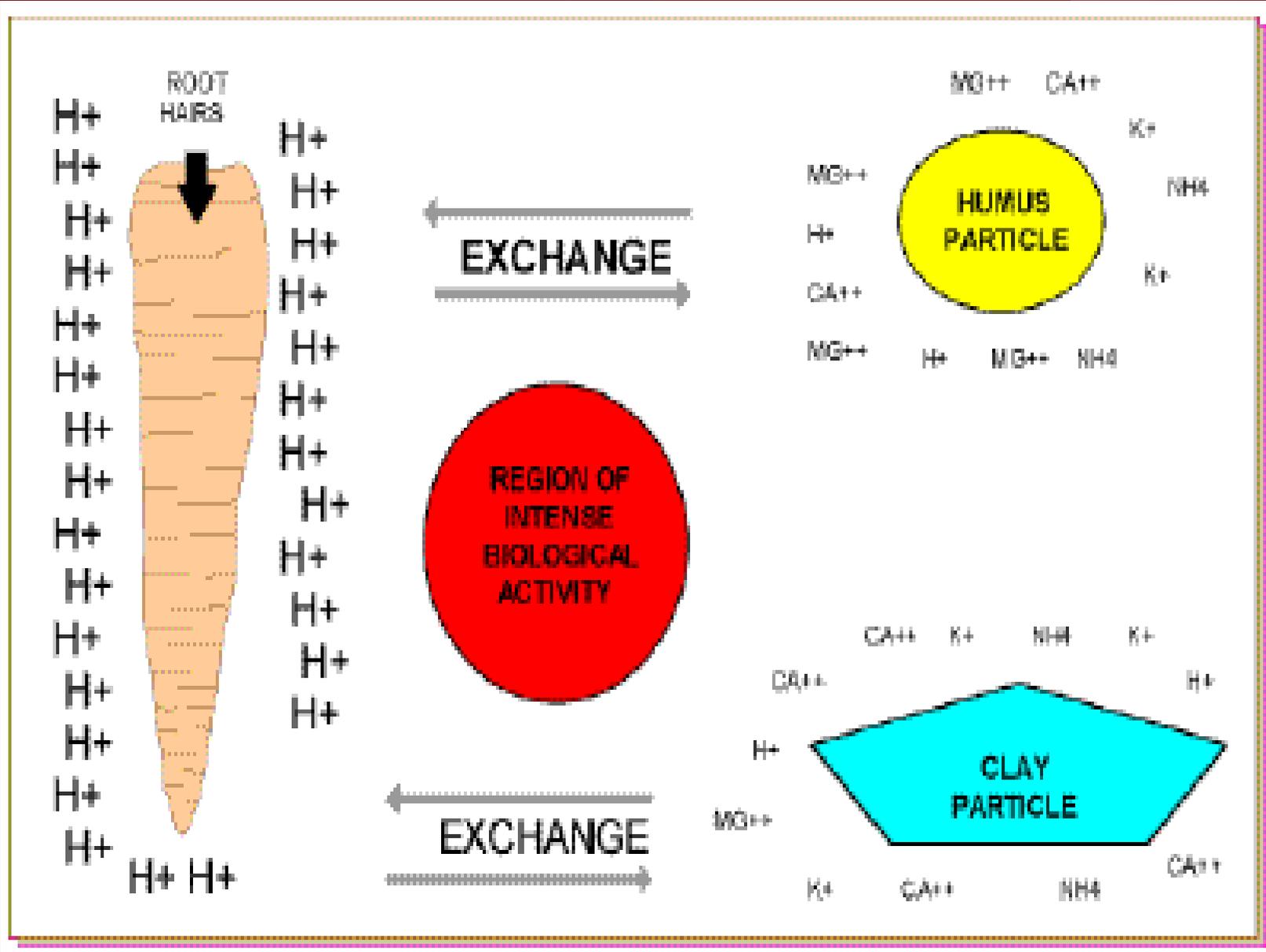
Oxidação



IONIZAÇÃO

Ácidos orgânicos podem doar elétrons em soluções aquosas, tornando-se ânions, o que aumenta significativamente a sua mobilidade na água

Troca iônica (CTC)



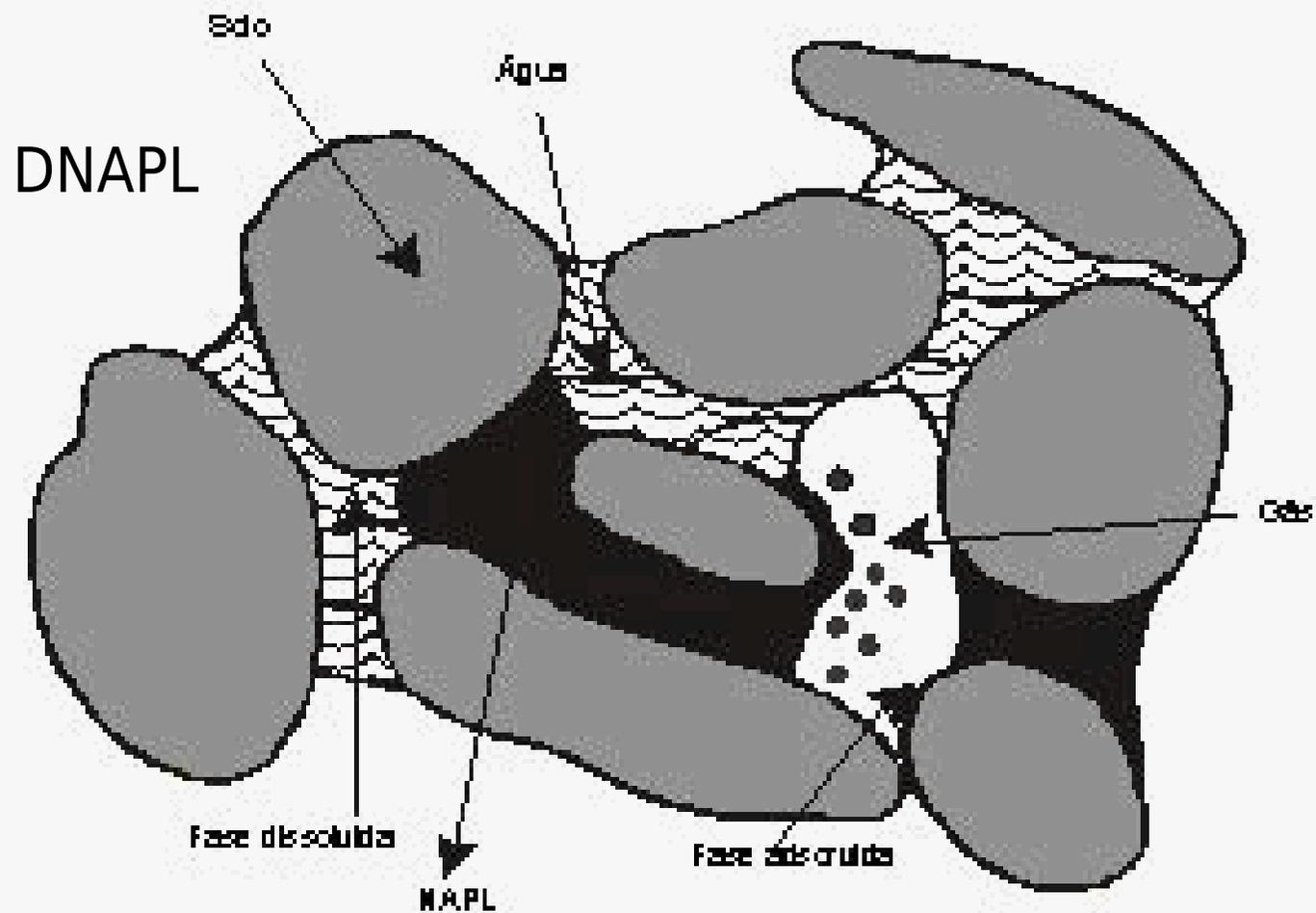
Troca iônica (CTC)

O poder de troca de um cátion será maior quanto maior for a sua valência

Na **química**, **valência** é um número que indica a capacidade que um **átomo** de um **elemento** tem de se combinar com outros átomos, capacidade essa que é medida pelo número de **elétrons** que um átomo pode dar, receber, ou compartilhar de forma a constituir uma **ligação química**

- Remoção de metais pesados depende da CTC de argilas e pode ser calculado – importante para remediação
- Dependem também da área argila

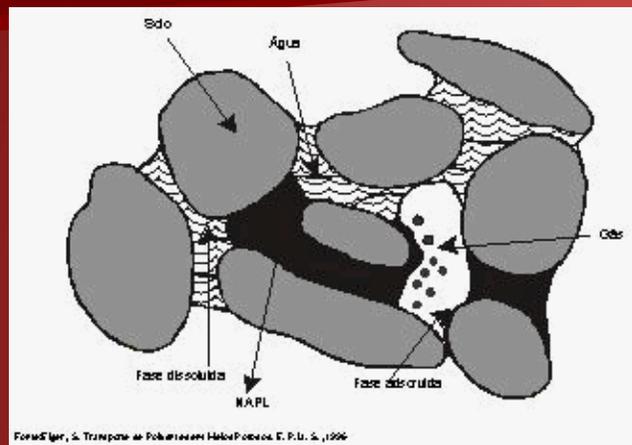
Forma de ocorrência dos poluentes no solo



Fonte: Cetesb

Forma de ocorrência dos poluentes no solo

Fase Líquida não aquosa (NAPL)



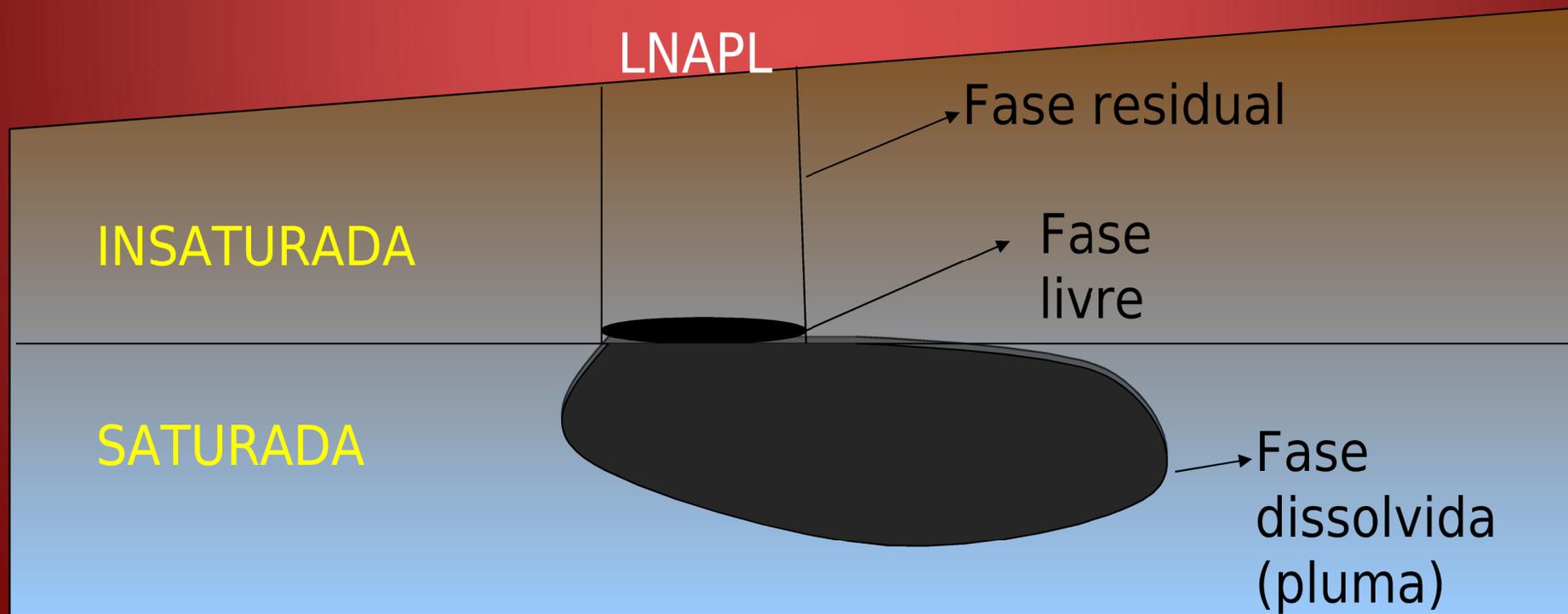
Fonte: Cetesb

Este grupo de poluentes envolve **solventes orgânicos sintéticos** que são **insolúveis ou muito pouco solúveis** em água e de menor densidade que a água

O **comportamento** desta categoria de poluentes **depende de vários fatores** como o grau de **saturação** do solo, a **densidade e viscosidade** do NAPL e o **volume ou dimensão** do derramamento no local

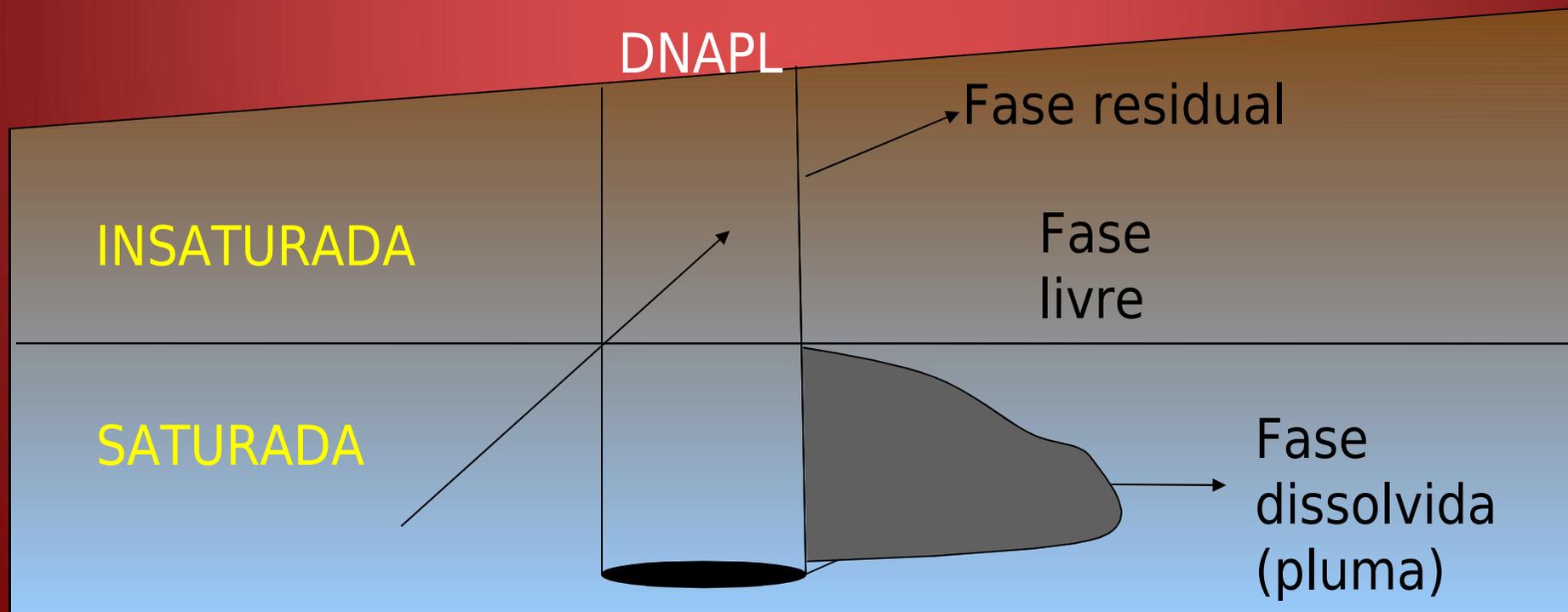
Forma de ocorrência dos poluentes no solo

Fase líquida não aquosa baixa densidade (LNAPL)

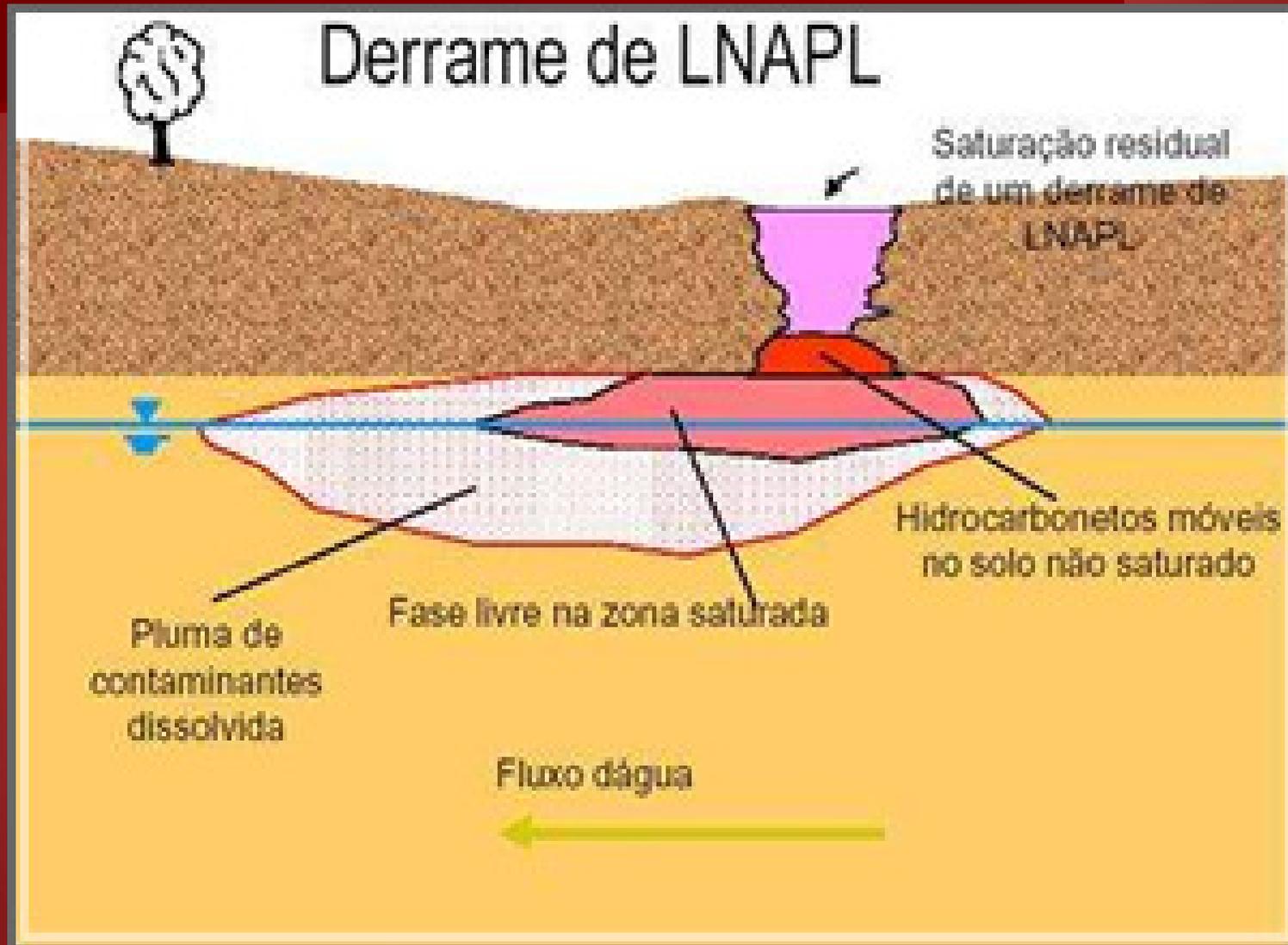


Forma de ocorrência dos poluentes no solo

Fase líquida não aquosa maior densidade (DNAPL)



MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO APROPRIADOS DEPENDEM



EXERCÍCIOS - individual e grupo

1) Cite e descreva 3 mecanismos de atenuação química e transporte de poluentes. Descreva de que forma as mudanças em cada uma das propriedades químicas do solo pode alterar os mecanismos de atenuação química dos poluentes?

EXERCÍCIOS - individual e grupo

2) Cite e descreva 2 mecanismos de atenuação física e transporte de poluentes. Descreva de que forma as mudanças em cada uma das propriedades físicas do solo pode alterar os mecanismos de atenuação/transporte físico dos poluentes?

EXERCÍCIOS - individual e grupo

3) Em face do derrame de poluente em um solo na região norte do Brasil, descreva o que pode acontecer com este poluente naquele solo, de acordo com os dados abaixo:

Solo: - Verão (temperatura de 33 graus)

- pH 8,0
- índice de precipitação elevado na época do acidente
- espessura da franja de capilaridade pequena
- muita matéria orgânica

Poluente: - Elevado grau solubilidade

- Ponto de volatilização em 32 graus
- pH 5,0

